LA NUTRITION MINÉRALE DU PIN NOIR D'AUTRICHE (*Pinus nigra* Arn. ssp. *nigricans* Host.) SUR LES PLATEAUX CALCAIRES DE L'EST DE LA FRANCE

INCIDENCES SUR LA PRODUCTION ET COMPARAISON AVEC L'ÉPICÉA COMMUN

F. LE TACON

avec la collaboration technique de
Maryse BITSCH et D. BOUCHARD

*Station de Recherches sur les Sols forestiers et la Fertilisation,
Centre national de Recherches forestières, I.N.R.A.
Champenoux, 54370 Einville*

RÉSUMÉ

Le Pin d'Autriche (*Pinus nigra nigricans* Arn.) est indifférent à la présence de calcaire dans le sol, alors que l'Épicéa (*Picea excelsa* Link) y est très sensible et présente des difficultés de croissance. A ces différences de comportement correspondent des différences de nutrition minérale très marquées.

Chez le Pin noir, la présence de calcaire dans le sol n'entraîne pas d'augmentation de la teneur en calcium des aiguilles. Les besoins en azote du Pin noir sont très faibles et sa croissance ne dépend donc pas de la disponibilité en azote du sol. Seul la nutrition en phosphore semble avoir une réelle importance.

Chez l'Épicéa, la présence de calcaire dans le sol augmente la teneur en calcium des aiguilles. L'Épicéa a des besoins en azote très importants. La présence de calcaire, qui provoque une diminution de la minéralisation de l'azote, entraîne donc une forte diminution de sa croissance. De plus, contrairement au Pin noir, il semble qu'à pH élevé, l'Épicéa ait des difficultés à métaboliser l'azote nitrique.

INTRODUCTION

Dans un article précédent (DECOURT-LE TACON), nous avons étudié le comportement du Pin noir d'Autriche sur les plateaux calcaires de l'Est de la France, en fonction de caractéristiques simples du sol.

Il apparaît que le Pin noir est peu affecté par la présence de calcaire dans le sol. Seule une diminution importante des réserves en eau utile du sol provoque une chute de production.

Au contraire, l'Épicéa dont nous avons également analysé le comportement dans cette même région et sur les mêmes types de sol, est très affecté par la présence de calcaire dès la surface. Dans divers articles, nous avons essayé de tenter d'expliquer les troubles de la nutrition que l'on observe chez l'Épicéa en sol calcaire (LE TACON-MILLIER, 1970-LE TACON, 1972). D'autre part CLÉMENT (1973) a montré que la présence de calcaire dans le sol provoquait des modifications importantes de l'équilibre acido-basique chez l'épicéa.

Il est intéressant d'étudier la nutrition du Pin noir, qui a un comportement de calcicole, ou du moins d'espèce indifférente ou tolérante au calcaire, et de la comparer dans les mêmes conditions à celle de l'Épicéa commun, qui a nettement un comportement d'espèce calcifuge.

I. — MÉTHODES DE TRAVAIL

Nous avons installé des microplacettes dans 36 peuplements d'âge compris entre 35 et 75 ans. Ces microplacettes ont été choisies de façon à couvrir une gamme importante de sol dont le facteur essentiel de variation est la teneur en calcaire total. Cette teneur en calcaire total des sols varie de 0 à 50 % en surface, et corrélativement, le pH des horizons A₁ varie de 5 à 8,3.

Sur ces 36 placettes, 24 sont situées sur sols entièrement carbonatés et 12 en sols décarbonatés, en partie ou totalement. Le faible effectif de notre échantillonnage en sol décarbonaté est dû au fait que, sur ce type de sol, les plantations de Pin noir sont extrêmement rares.

Les prélèvements foliaires ont été effectués au cours de l'hiver 1969-1970. Dans chacune des microplacettes, nous avons prélevé des aiguilles de l'année, dans le tiers supérieur de la cime de cinq arbres de l'étage dominant.

Nous avons effectué une analyse totale des éléments suivants : N, P, K, Ca, Mg, Fe et Mn.

Les mesures des caractéristiques dendrométriques ont été décrites dans un article précédent (DECOURT-LE TACON, 1974). Nous avons retenu comme indice de production la hauteur dominante à 30 ans. Cette hauteur a été déterminée par analyse de tige.

L'interprétation des résultats a été effectuée, soit à l'aide de techniques statistiques simples (analyses de variance, comparaison de moyennes), soit à l'aide de méthodes d'analyses multivariates.

II. — RÉSULTATS DES ANALYSES FOLIAIRES

2.1. — Étude de la nutrition proprement dite

2.1.1. Jugement de la nutrition en valeur absolue.

TABLEAU I

Analyse de la variance sur les teneurs en éléments minéraux des aiguilles de l'ensemble des placettes de Pinus nigra nigricans (xx significatif au seuil de 1 %)
Variance analysis on needles mineral content for all plots of Pinus nigra nigricans (xx significative at 1 % level)

	Moyenne	Maximum	Minimum	Test F	Signification
Fe ‰	0,115	0,294	0,016	12,765	× ×
P ‰	0,134	0,165	0,083	10,045	× ×
Mn ‰	0,071	0,217	0,010	8,685	× ×
N ‰	1,169	1,55	0,81	6,670	× ×
K ‰	0,631	0,81	0,46	5,897	× ×
Ca ‰	0,351	0,46	0,22	4,707	× ×
Mg ‰	0,139	0,21	0,09	4,207	× ×

La teneur en azote des aiguilles est très basse; la moyenne (1,169 p. 100) est nettement inférieure à l'optimum généralement admis pour les résineux. (Optimum 1,5 p. 100 de N dans les aiguilles).

Il est probable que ces valeurs optimales habituellement valables pour les résineux à forte production (Épicéa, Douglas, Sapin pectiné, etc...), sont trop élevées pour des résineux à faible production comme le Pin noir.

La teneur moyenne en phosphore est de 0,134 p. 100. Le maximum observé (0,165 p. 100) est proche de l'optimum généralement admis, et les valeurs minimales très basses (0,083 p. 100).

La teneur en calcium est toujours assez basse et peu variable (minimum 0,33 p. 100-maximum 0,46 p. 100).

La teneur en potassium est toujours assez élevée avec une fourchette de variation allant de 0,46 à 0,80 p. 100.

La teneur en manganèse peut atteindre des niveaux très bas, mais n'atteint jamais des niveaux élevés.

2.12. Analyse de la variance à un facteur contrôlé.

Les résultats de cette analyse sont donnés dans le tableau 1. Tous les éléments dosés discriminent significativement l'ensemble des microplacettes. C'est le fer qui est l'élément le plus discriminant, puis le phosphore. Les éléments les moins discriminants sont le potassium, le calcium et le magnésium.

Ces résultats montrent que les grandes variations du taux de saturation et de la teneur en calcaire total du sol ne se répercutent que très faiblement sur la nutrition en cations (calcium, potassium, magnésium), comme cela a déjà été noté pour d'autres espèces tolérantes au calcaire, par de nombreux auteurs.

2.13. — Corrélations entre éléments.

FIG. 1. — Coefficients de corrélation entre les teneurs en éléments minéraux des aiguilles de *Pinus nigra nigricans*.

Corrélation { — au seuil de 5 % — — — — —
positive { — au seuil de 1 % = = = = =

Corrélation { au seuil de 5 % — — — — —
négative { au seuil de 1 % = = = = =

FIG. 1. — Correlation coefficients between needles mineral content of *Pinus nigra nigricans*.

Nous avons calculé la matrice des coefficients de corrélation intrapeuplement et inter-peuplement.

Considérons tout d'abord les coefficients intrapeuplement : ils traduisent les liaisons entre éléments existant à l'intérieur des placettes pour l'ensemble de celles-ci, et caractérisent des liaisons entre éléments ayant des rôles voisins. Seule une liaison est très forte : celle existant entre fer et manganèse, qui ont un rôle voisin dans la plante, en particulier au niveau du potentiel d'oxydoréduction. Notons qu'il n'existe pas de liaison positive entre calcium et manganèse.

Considérons maintenant les coefficients de corrélation interpeuplement : ils ont une signification très différente et traduisent l'action des facteurs du milieu, essentiellement les facteurs du sol, sur la nutrition minérale de l'arbre. Il existe deux liaisons négatives très significatives : Ca-N et Ca-P, et trois liaisons positives, également très significatives : NP, PMn, et Fe-Mn. La remarque la plus importante à faire est l'absence de corrélation négative entre les teneurs en calcium et manganèse des aiguilles. Nous reviendrons sur ce point dans la comparaison avec l'Épicéa.

III. — NUTRITION ET TYPE DE SOL

(influence de la présence de calcaire dès la surface)

TABLEAU 2

Teneur en éléments minéraux des aiguilles de *Pinus nigra nigricans* sur sols calcaires et sur sols décarbonatés (comparaison de moyennes : NS, non significatif; x, significatif au seuil de 5 %; xx, significatif au seuil de 1 %)

Needles mineral content of *Pinus nigra nigricans* on carbonated soils and decarbonated soils (mean comparison : Ns, non significative; x, significative at 5 % level; xx, significative at 1 % level)

	Sols Décarbonatés	Sols Carbonatés	t	Signification
N %	1,249	1,133	1,961	NS
P %	0,150	0,138	2,058	NS
K %	0,638	0,628	0,325	NS
Ca %	0,329	0,351	— 1,201	NS
Mg	0,143	0,138	0	NS
Mn ‰	0,114	0,053	2,75	× ×
Fe ‰	0,150	0,087	1,83	NS

Le tableau 2 montre que seule la nutrition en manganèse permet de différencier significativement les sols carbonatés et les sols décarbonatés. Cette différence est nette, mais est beaucoup moins importante que ce que nous avons observé chez l'épicéa dans les mêmes conditions (LE TACON, MILLIER, 1970).

La nutrition en azote et en phosphore est légèrement meilleure sur sols décarbonatés, mais les différences ne sont pas significatives. De même la teneur en fer des aiguilles est plus faible en sol carbonaté, qu'en sol décarbonaté, mais la différence n'est pas non plus significative.

Nous avons essayé d'obtenir une discrimination plus importante entre les deux types de station par des procédés plus élaborés (analyse discriminante à plusieurs populations), mais il est impossible de différencier de façon plus nette les deux types de sol.

IV. — NUTRITION ET PRODUCTION

Les liaisons entre nutrition et production sont déterminées par l'intermédiaire de la hauteur dominante à 30 ans (H_{D30}).

Quatre éléments sont corrélés avec la production. Trois le sont positivement : le manganèse, le phosphore et le fer, et un négativement : le calcium (figure 2).

Par régression progressive, seule l'introduction du manganèse et du phosphore est significative (Fig. 2) :

$$H_{D30} = 6,95 + 17,2 \times Mn + 26,0 \times P$$

(R = coefficient de corrélation multiple = 0,682)

FIG. 2. — Hauteur dominante à 30 ans et teneur en éléments minéraux des aiguilles de *Pinus nigra nigricans* (régression progressive).

FIG. 2. — 30 years old dominant height and needles mineral contents of *Pinus nigra nigricans* (regression analysis).

Ce type d'analyse présente des défauts bien connus : en particulier, il donne trop de poids à la variable introduite en premier.

Nous avons donc effectué une analyse des composantes principales, puis une régression orthogonale, ce qui nous a permis d'obtenir des résultats beaucoup plus satisfaisants (tableau 3).

TABLEAU 3

*Nutrition et hauteur dominante à 30 ans, du Pin Noir.
Régression orthogonale et coefficients de corrélation partielle
Mineral nutrition and 30 years old dominant height of Pinus nigra nigricans
Orthogonal regression and partial correlation coefficients*

	Éléments entrant dans la composante	Coefficient de corrélation entre composante et H _D 30	Test de Student	Signification
Composante n° 1	+ P — Ca	0,554	4,21	× ×
Composante n° 2	+ Mn + Fe	0,369	2,80	×
Éléments	Coefficient de corrélation partielle avec H _D 30		Test de Student	Signification
N ‰	0,078		1,28	
P ‰	0,239		4,77	× ×
K ‰	0,082		1,07	
Ca ‰	— 0,116		— 2,10	×
Mg ‰	0,112		1,42	
Mn ‰	0,271		4,71	× ×
Fe ‰	0,208		3,03	×

Deux composantes sont corrélées avec la hauteur dominante à 30 ans. Il s'agit de la première qui fait intervenir positivement le phosphore et négativement le calcium, et de la seconde qui fait intervenir positivement le fer et le manganèse.

C'est surtout la première composante qui est corrélée avec la croissance; le phosphore apparaît donc ici comme l'élément essentiel intervenant dans la croissance. Lorsque l'on revient aux variables de départ, par calcul des coefficients de corrélation partielle avec H_{D30}, on retrouve un résultat identique mettant nettement en évidence le rôle du phosphore.

Une certaine déficience en manganèse, et peut-être en fer, semble également avoir un certain rôle sur la croissance, mais probablement à un degré moindre.

V. — PRODUCTION ET NUTRITION AZOTÉE

La production du Pin noir ne semble pas dépendre de la teneur en azote des aiguilles, pas plus que de la quantité d'azote ammoniacal ou nitrique disponible dans les horizons A₁ des sols.

Nous observons néanmoins des variations dans le niveau de nutrition azotée (0,85 à 1,55 %). Nous avons cherché à expliquer ces variations, bien qu'elles n'interviennent pas sur la croissance. Il s'avère que ces variations sont explicables à la fois par la disponibilité

du sol en azote ammoniacal et en azote nitrique (azote nitrique et azote ammoniacal séparément, et somme azote nitrique et azote ammoniacal). Le pourcentage d'explication n'est d'ailleurs pas négligeable puisqu'il atteint 60 %.

VI. — COMPARAISON ENTRE LA NUTRITION DE L'ÉPICÉA ET CELLE DU PIN NOIR D'AUTRICHE — DISCUSSION

6.1. — *Comparaison des deux espèces*

Chez le Pin noir, la présence de calcaire dans le sol n'a pratiquement pas d'influence sur la croissance et ne provoque pas de modifications importantes de la teneur en éléments minéraux des aiguilles. Chez l'Épicéa, au contraire, la présence de calcaire dans le sol provoque une chute de croissance, et corrélativement, entraîne des modifications importantes dans la nutrition minérale.

Voyons tout d'abord le comportement du calcium chez les deux espèces : chez le Pin noir, la teneur en calcium des aiguilles reste toujours à un niveau peu élevé et n'augmente pratiquement pas lorsque l'on passe des sols décarbonatés à des sols entièrement carbonatés (0,33 % contre 0,35 %).

Chez l'Épicéa au contraire, la teneur en calcium des aiguilles est déjà élevée même sur sol entièrement décarbonaté, et augmente nettement en sol calcaire, même si cette augmentation n'est pas en rapport avec l'accroissement considérable de la disponibilité du sol en calcium, lorsque l'on passe d'un sol à l'autre.

En sol bien pourvu en calcium échangeable, mais sans carbonate de calcium, l'absorption du calcium est forte chez l'Épicéa, faible chez le Pin noir.

En sol calcaire, l'Épicéa freine l'accumulation du calcium, mais pas suffisamment pour empêcher que la teneur en calcium dépasse 1 % dans les aiguilles (maximum 1,26 %). Au contraire, chez le Pin noir il n'y a pas accumulation de calcium, et une disponibilité élevée du sol en calcium n'a pratiquement aucun effet sur la teneur de cet élément dans les aiguilles.

Si nous reportons sur un graphique la teneur en calcium des aiguilles des deux espèces, d'une part sur un sol entièrement décarbonaté, et d'autre part sur un sol très carbonaté, on illustre parfaitement ce phénomène. (fig. 3)

Examinons maintenant le problème de la nutrition azotée : le Pin noir d'Autriche se révèle assez indifférent à la disponibilité de l'azote dans les sols. Sa production, en particulier, ne semble pas dépendre de la teneur en azote du sol, ni de la forme d'azote. Le Pin noir semble absorber les deux formes disponibles, ammoniacale et nitrique.

Il semble également que les besoins du Pin noir soient satisfaits à un niveau très bas, de l'ordre de 0,9 à 1,1 %. Un supplément d'absorption, en particulier d'azote ammoniacal n'améliore pas la croissance.

La comparaison de ces deux stations extrêmes est très instructive. Sur sol lessivé acide, la production d'azote minéral est très élevée et, à la fois, nitrique et ammoniacale (LE TACON 1972). La teneur en azote des aiguilles de l'Épicéa est très élevée, de l'ordre de 1,70 p. 100. Corrélativement, sa production est très élevée, de l'ordre de 19 m³/ha/an, à 50 ans.

FIG. 3. — Comparaison de la nutrition de l'Epicéa et du Pin noir sur deux stations extrêmes (sol lessivé totalement décarbonaté, sol fortement carbonaté).

FIG. 3. — Comparison of Spruce and Pine (*Pinus nigra nigricans*) mineral nutrition on two opposite sites (completely decarbonated leached soil and carbonated soil).

La production du Pin noir est beaucoup plus faible sur cette même station, et malgré une très forte minéralisation de l'azote, la teneur en azote des aiguilles de Pin noir n'est que de 1,2 p. 100. (fig. 3)

A l'opposé, sur sol très calcaire, c'est surtout l'azote nitrique qui est disponible et la production de l'Épicéa est extrêmement faible; corrélativement, la teneur en azote des aiguilles s'abaisse à 0,60 p. 100, très au-dessous du seuil de carence (LE TACON, 1972).

Le Pin noir voit sa production à peine diminuer et la teneur en azote de ses aiguilles se maintient à un niveau à peine inférieur à 1 p. 100.

Les besoins en azote du Pin noir sont donc faibles et l'utilisation quasi exclusive de l'azote nitrique ne semble pas poser de difficultés.

L'Épicéa au contraire a des besoins considérables en azote, et ne peut se satisfaire de la seule production d'azote nitrique en sol calcaire. En toute rigueur une comparaison rigoureuse des besoins en azote des deux espèces nécessiterait des mesures de biomasse foliaire, voire même des mesures de biomasse totale.

On peut également penser que l'Épicéa a, en plus, des difficultés à utiliser l'azote nitrique en sol calcaire. En effet, des teneurs en azote de 0,60 p. 100 dans les feuilles sont extrêmement basses et ne peuvent s'expliquer par la seule diminution de la production d'azote minéral du sol.

Une troisième différence entre l'Épicéa et le Pin noir apparaît au niveau du comportement du calcium et du manganèse.

Chez l'Épicéa, nous avons mis en évidence un antagonisme calcium-manganèse très net, qui se traduisait par un coefficient de corrélation négatif interplacette très significatif entre ces deux éléments.

Chez le Pin noir, aucun phénomène de ce genre ne peut être mis en évidence.

D'autre part, en stations décarbonatées, l'accumulation du manganèse est beaucoup moins élevée que chez l'Épicéa. En moyenne, en station décarbonatée, la teneur en manganèse des aiguilles de Pin noir est de 3 à 5 fois plus basse que celle de l'Épicéa. Par contre, en sol calcaire, le niveau du manganèse dans les aiguilles des deux espèces ne diffère pas en moyenne.

En ce qui concerne l'explication de la variation de production par les caractéristiques de nutrition, rappelons que quatre éléments semblaient importants chez l'Épicéa : l'azote, le calcium, le phosphore et le manganèse (LE TACON, MILLIER, 1970), l'azote étant de très loin l'élément le plus important. Chez le Pin noir, nous retrouvons trois de ces éléments : phosphore, manganèse et calcium, le phosphore semblant avoir le rôle le plus important. Par contre, l'azote a complètement disparu en tant qu'élément pouvant avoir un rôle dans l'explication des variations de croissance.

6.2. — Discussion

Cette différence entre les deux espèces vis-à-vis de la nutrition azotée nous semble fondamentale pour expliquer leurs différences de comportement vis-à-vis de la présence ou de l'absence de calcaire dans le sol.

Les besoins en azote du Pin noir semblent faibles. Une teneur en azote dans les aiguilles égale ou inférieure à 1 % n'a aucune incidence sur la production. Une faible minéralisation de l'azote dans le sol n'entraîne pas de chute de croissance. Au contraire, une forte minéralisation de l'azote n'a aucun effet sur la croissance, même si l'absorption de l'azote est augmentée.

En conséquence, la production du Pin noir n'est pas élevée sur les sols à forte potentialité.

L'Épicéa, par contre, a des besoins importants en azote pour exprimer tout son potentiel de production. Sur les sols décarbonatés à forte réserve en eau, à réserve minérale importante et à forte minéralisation de l'azote, il est capable de tirer tout le parti possible de cette fertilité. Sa production sera donc très élevée.

Lorsque le pH augmente la minéralisation de l'azote diminue (LE TACON, 1972). La présence de calcaire, qui entraîne une forte augmentation de pH dans le sol, induit donc une chute de croissance de l'Épicéa, par l'intermédiaire de la nutrition azotée (LE TACON, 1972).

Le Pin noir, ayant de faibles besoins en azote, ne réagit pas à la présence de calcaire, ni à l'augmentation de pH.

Mais, dès maintenant, nous pouvons penser que la diminution de la minéralisation de l'azote n'est pas seule en cause. En effet, en sol calcaire à pH élevé, le Pin noir assure une production non négligeable de matière sèche, tout en ayant un niveau d'azote dans les aiguilles non différent significativement de celui que l'on observe sur sols décarbonatés.

Exactement dans les mêmes conditions, l'Épicéa ne produit qu'une quantité très faible de matière sèche, inférieure à celle produite par le Pin noir, et de plus, a une teneur en azote dans ses aiguilles très nettement inférieure, sur les stations à pH le plus élevé, à celle que l'on observe chez le Pin noir.

Sur ces stations, l'Épicéa a donc utilisé des quantités très faibles d'azote, plus faibles que celles qui sont mises à sa disposition.

La comparaison du comportement des deux espèces laisse donc supposer, qu'en plus des besoins plus importants en azote de l'Épicéa, cette espèce rencontre des difficultés d'utilisation de l'azote en milieu calcaire, et en particulier de l'azote nitrique, puisque cette forme est dominante à pH élevé.

La différence de comportement vis-à-vis de la nutrition en calcium pourrait également être en rapport avec le caractère calcifuge de l'Épicéa et le caractère calcicole du Pin noir. En effet, le Pin noir a toujours une faible teneur en calcium dans ses tissus foliaires. Ni l'augmentation de la disponibilité en calcium du milieu, ni la présence de calcaire ne modifient cette teneur. Il est donc capable d'empêcher totalement l'accumulation de calcium dans ses tissus, même lorsque la disponibilité du milieu est très élevée.

Sur sol acide, l'Épicéa accumule dans ses aiguilles toujours des quantités de calcium supérieures à celles du Pin noir. De plus, lorsque la disponibilité du sol en calcium augmente, l'Épicéa ne freine qu'imparfaitement l'accumulation de cet élément dont la teneur augmente dans les tissus.

L'absence d'antagonisme calcium-manganèse chez le Pin noir, et sa présence chez l'Épicéa différencient très nettement les deux espèces. Il semble cependant difficile de mettre

en parallèle ce phénomène avec les différences de comportement des deux espèces vis-à-vis du calcaire.

Quelques points communs existent cependant entre les deux espèces. En effet dans les deux cas nous avons pu mettre en évidence une liaison entre production d'une part et teneur des aiguilles en phosphore, manganèse et fer d'autre part.

CONCLUSION

L'Épicéa et le Pin noir ont un comportement tout à fait différent vis-à-vis de la présence de calcaire dans le sol.

Alors que le Pin noir est parfaitement indifférent à la présence de carbonate de calcium, l'Épicéa, dans ces conditions, présente au contraire des difficultés de croissance très importantes qui peuvent se traduire par une production voisine de zéro.

A ces différences de croissance en présence ou en l'absence de calcaire, correspondent des différences de nutrition très marquées.

Le Pin noir d'Autriche se révèle indifférent à la disponibilité de l'azote dans les sols. En particulier, sa production paraît indépendante de la teneur en azote des aiguilles, et de la disponibilité en azote du sol, ainsi que de la forme de cet azote. Ses besoins en azote sont très faibles et semblent satisfaits avec des teneurs dans les aiguilles de l'ordre de 1 p. 100, ou même inférieures à 1 p. 100.

D'autre part, en milieu calcaire, le Pin noir utilise parfaitement l'azote nitrique.

Par contre, sa production dépend fortement de la nutrition en phosphore et, à un degré moindre, de la nutrition en fer et en manganèse.

Il est impossible de discriminer la nutrition minérale du Pin noir en fonction de la présence ou de l'absence de calcaire dans le sol. Seule la nutrition en manganèse est significativement différente entre les deux types de sol. Il est en particulier remarquable de constater que la présence de calcaire n'augmente pas la teneur des aiguilles en calcium, teneur qui reste toujours à un niveau très bas.

Ces caractéristiques de nutrition minérale et ce comportement sont tout à fait différents de ce que l'on observe chez l'Épicéa.

En effet, l'Épicéa a des besoins importants en azote pour exprimer tout son potentiel de production qui est nettement plus élevé que celui du Pin noir.

L'augmentation du pH du sol, donc la présence de calcaire, entraînent une diminution de la minéralisation de l'azote, donc une chute de production (LE TACON, 1972).

Mais la comparaison des deux espèces laisse supposer que l'Épicéa, en dehors de ses besoins importants en azote, a des difficultés à utiliser l'azote nitrique qui est la forme dominante à pH élevé.

Reçu pour publication en juin 1974.

SUMMARY

MINERAL NUTRITION OF AUSTRIAN PINE IN EAST OF FRANCE
INFLUENCE ON WOOD PRODUCTION AND COMPARISON WITH SPRUCE

Spruce (*Picea excelsa*) and Austrian Pine (*Pinus nigra nigricans*) behave very differently when calcium carbonate is present in soil : Austrian Pine is completely indifferent, but Spruce presents severe growth difficulties.

Great differences in mineral nutrition of the two species correspond to these growth differences :

— The production of Austrian pine depends nor on needles nitrogen content, nor on soil nitrogen availability, nor on nitrogen form (NH_4^+ or NO_3^-). Its nitrogen needs are very low and seem to be fulfilled when needles nitrogen content is 1 % or even lower, and a high nitrogen mineralisation in soil does not increase growth. Moreover, Austrian Pine uses NO_3^- nitrogen very well on calcareous soil.

Its production is very dependant on phosphorus nutrition and for a smaller degree, on iron and manganese nutrition.

Except as far as manganese is concerned, there is no nutrition difference between Austrian pines growing on soils with or without calcium carbonate. It is particularly remarkable that the presence of calcium carbonate in soil does not increase needles calcium content, which is always low.

Spruce behave very differently : Spruce has important nitrogen needs to express its growth potentiality which is higher than the one of Austrian Pine.

The presence of calcium carbonate in soil and high pH values induce a low nitrogen mineralisation and a low production. (LE TACON, 1972).

But the comparison between the two species shows that Spruce, besides its important nitrogen needs, has difficulties in using NO_3^- nitrogen, which is the dominant form for high pH values.

ZUSAMMENFASSUNG

DES ERNÄHRUNGSZUSTAND DER ÖSTERREICHISCHEN SCHWARZKIEFER
(*PINUS NIGRA* ARN. SSP. *NIGRICANS* HOST.) AUF DEN KALKPLATEAUS IN OSTFRANKREICH.
EINFLÜSSE AUF DIE WUCHSLEISTUNG UND VERGLEICH MIT DER FICHTE

Fichte und Schwarzkiefer verhalten sich grundverschieden gegenüber dem Kalkgehalt im Boden. Während die Schwarzkiefer praktisch indifferent bleibt, zeigt die Fichte bedeutende Wuchsschwierigkeiten. Diesen unterschiedlichen Wuchsleistungen entsprechen deutliche Unterschiede im Ernährungszustand.

Die Schwarzkiefer reagiert nicht auf den im Boden verfügbaren Stickstoff und es besteht kein Zusammenhang zwischen ihrer Wuchsleistung und dem Nadelstickstoffgehalt, der im Boden verfügbaren Stickstoffmenge und Stickstoffart. Ihre Ansprüche an Stickstoff sind sehr gering und ein Nadelstickstoffgehalt von 1 % und allenfalls noch weniger, scheint ausreichend zu sein. Desweiteren kann die Schwarzkiefer auf Kalkstandorten auch Nitrit-Stickstoff aufnehmen.

Die Wuchsleistung der Schwarzkiefer ist jedoch sehr wesentlich von der Phosphorernährung und bis zu einem gewissen Grad auch von der Fe und Mn Ernährung abhängig. Es erscheint unmöglich den Ernährungszustand der Schwarzkiefer auf Böden mit und ohne Kalk auseinander zu halten, da nur der Mangengehalt der Nadeln auf diesen beiden Bodentypen signifikant verschieden ist. Es ist weiterhin bemerkenswert, dass der Bodenkalk den Ca-Gehalt der Nadeln, welcher immer sehr gering bleibt, nicht beeinflusst.

Der Ernährungszustand und die Wuchsleistung der Fichte auf diesen Standorten sind dagegen grundverschieden. Die Fichte benötigt grosse Mengen an Stickstoff um ihre potentielle Wuchsleistung zu erreichen, welche wesentlich höher ist als jene der Schwarzkiefer. Eine Zunahme des pH Wertes

im Boden, d. h. das Vorhandensein von Kalk, führt zu einer Abnahme der Stickstoffmineralisierung und damit zu einem Produktionsabfall (LE TACON, 1972).

Der Vergleich dieser beiden Holzarten lässt die Annahme zu, dass die Fichte - unabhängig von ihren hohen Stickstoffansprüchen — Schwierigkeiten bei der Aufnahme von Nitrit-Stickstoff hat, der auf Karbonatböden mit hohem pH die wesentliche Stickstoffkomponente darstellt.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBEZ M., MILLIER C., 1971. — Contribution à l'étude de la variabilité géographique de *Pinus nigra* ARN. Étude comparative de quelques caractères morphologiques des aiguilles au stade juvénile. Conséquence pour la systématique de l'espèce et les tests variétaux. *Ann. Sci. forest.*, **28**, n° 1, 23-49.
- CLÉMENT A., 1972. — Étude de l'équilibre acido-basique de l'*Epicéa* (*Picea excelsa* Link) sur sol très carbonaté, carbonaté, décarbonaté. Thèse de spécialité. Faculté des Sciences de Nancy.
- CLÉMENT A., 1974. Étude de la nutrition minérale d'*Epicéa excelsa* Link sur sols calcaires et sol décarbonaté : incidence sur le métabolisme des anions minéraux et organiques. *Ann. Sci. forest.* Sous presse.
- CLÉMENT A., 1974. — Étude de la nutrition minérale de *Pinus nigra* nigricans sur sols calcaires et sur sol décarbonaté : incidence sur le métabolisme des anions minéraux et organiques. *Ann. Sci. forest.* Sous presse.
- CLÉMENT A., 1974. — Comparaison de la nutrition minérale de *Pinus nigra* nigricans et de *Picea excelsa* Linken sol très carbonaté, carbonaté et décarbonaté : incidence sur le métabolisme des anions minéraux et organiques. *Ann. Sci. forest.* Sous presse.
- DEBAZAC E.-F., 1971. — Contribution à la connaissance de l'aire et de l'écologie de *Pinus nigra* Arn. dans le Sud Est de l'Europe. *Ann. Sci. Forest.*, **28**, n° 2.
- DECOURT N., LE TACON F., 1970. — L'*épicéa* commun sur les plateaux calcaires de l'Est de la France. Essai de prévision de la production à l'aide de déterminations pédologiques simples. *Ann. Sci. forest.* **27**, (3), p. 255-286.
- DECOURT N., LE TACON F., 1974. — Comportement du Pin noir d'Autriche sur les plateaux calcaires du Nord-Est de la France. Comparaison avec l'*épicéa* commun. R.F.F. n° 3.
- DOMMERGUES Y., MANGENOT F., 1970. — *Écologie microbienne du Sol*. Masson et Cie, 120 bd St-Germain. Paris 6^e.
- DUCHAUFOR PH., 1953. — Humus actif et humus inerte. Recherches expérimentales sur la minéralisation de l'humus forestier. *Ann. Écol. Nat. Eaux et Forêts*, Nancy, **13**, p. 403-453.
- DUCHAUFOR PH., BONNEAU M., 1962. — Étude expérimentale de l'influence du calcaire sur la nutrition et la croissance d'un résineux acidiphile. *Ann. Écol. nat. Eaux et Forêts*, Nancy, **19** 3, p. 389-413.
- DURZAN D.-J., STEWARD F.-C., 1967. — The nitrogen metabolism of *Picea glauca* and *Pinus banksiana* as influenced by mineral nutrition. *Canad. J. Bota.*, **45**, p. 695-719.
- FROMENT A., 1971. — La minéralisation de la matière organique dans les sols calcimorphes du plateau forestier de Virelles (Belgique). *Bulletin A.F.E.S.*, n° 3, p. 39-44.
- GHORBAL H., SALSAC L., 1972. — Comparaison de l'absorption du calcium par des racines de Pin d'Alep et de Pin maritime in « *Isotopes and Radiations in Soil plant Relationships* ». Proceeding of a Symposium I.A.E.A., Vienne 13-17, décembre 1971, p. 313-326.
- LE TACON F., 1972. — Disponibilité de l'azote nitrique et ammoniacal dans certains sols de l'Est de la France. Influence sur la nutrition et la croissance de l'*épicéa* commun. *Ann. Sci. forest.* **29** (2), p. 183-203.
- LE TACON F., MILLIER C., 1970. — La nutrition minérale de l'*épicéa* commun en sols carbonatés et en sols décarbonatés. Essai sur le comportement du calcaire et du manganèse. *Ann. Sci. forest.*, **27** (1), p. 63-88.
- LE TACON F., MILLIER C., 1970. — Influence des conditions de nutrition minérale sur la croissance de l'*épicéa* commun sur les plateaux calcaires de l'Est de la France. *Ann. Sci. forest.* **27** (4), p. 335-355.
- PASSAMAL J., 1970. — Composition minérale de diverses espèces calcicoles et calcifuges de la région méditerranéenne française. *Oecol. Plant.*, V, p. 225-246.
- SALSAC L., 1970. — *Absorption du calcium par les racines de Féverole (calcicole) et le Lupin jaune (calcifuge)*. Thèse. Paris, 164 pages.
- SALSAC L., LAMANT A., 1973. — Étude des échanges protons-calcium dans les racines d'une plante calcicole (Féverole) et d'une plante calcifuge (Lupin jaune). *Oecol. Plant.*, **8** (3), p. 263-278.
- WACQUANT J.-P., 1969. — Adsorption, absorption cationique, préférentielle et écologie végétale. *Bull. Soc. Franç. Physiol. Végét.*, **15**, 2, p. 237-251.
- WACQUANT J.-P., 1972. — Effet de quelques solutions basiques sur l'adsorption cationique radicaire. *C.R. Ac. Sc. Paris*, t, 274, p. 2057-2060.
- WACQUANT J.-P., PASSAMAL J., 1971. — Sur les relations entre l'adsorption radicaire préférentielle et l'absorption sélective de Ca, Mg, K et Na chez diverses populations d'*Anagallis arvensis* L et d'autres espèces. *C. R. Acad. Sc. Paris*, T 272, p. 711-714.